Ann. Limnol. 38 (4) 2002 : 329-338

Note technique - Technical note

ProCURVE : logiciel de calcul des préférences d'habitat pour les organismes aquatiques

N. Mengin[1,2]
A. Thorel[1]
H. Liebig[1,3]
G. Segura[1]

Mots-clés : logiciel, modèles biologiques, microhabitats, profils écologiques, courbes de préférences d'habitat.

Les modèles biologiques constituent un élément fondamental de la méthode des microhabitats pour l'évaluation de la capacité d'accueil potentielle des cours d'eau vis-à-vis des organismes aquatiques. Avec l'importance croissante de la problématique «habitat» dans les études d'impact est apparue la nécessité de disposer d'outils informatiques performants pour la réalisation des calculs complexes et fastidieux qui en découlent. ProCURVE est un logiciel entièrement dédié à la construction de courbes de preferenda et de profils écologiques pour les organismes aquatiques. Il élabore ces modèles biologiques en accompagnant l'utilisateur dans une démarche analytique logique et rigoureuse. Le logiciel permet une gestion aisée des données. La souplesse de la base de données relationnelles lui confère de nombreuses possibilités d'analyses linéaires ou transversales. Son ouverture sur les bases de données externes permet d'envisager le traitement de données déjà disponibles dans la bibliographie. Les variables écologiques utilisées communément sont fournies par défaut mais l'utilisateur a la possibilité de les configurer selon ses besoins. Les résultats générés sont visualisés directement. Ils peuvent être sauvegardés sous forme graphique ou exportés au format des principaux tableurs pour un traitement complémentaire.

ProCURVE : software to calculate habitat preferences of aquatic organisms

Keywords : software, biological models, microhabitats, ecological profiles, habitat preferences.

Biological models are a major element of the Instream Flow Incremental Methodology for habitat simulation of aquatic organisms in streams. Complex and tedious calculations are required for the growing importance of the «habitat» set of problems in impact studies. This situation emphasizes the need of powerful data-processing tools to process this kind of data. ProCURVE software is a entirely dedicated to the construction of preference curves and microhabitat profiles for the aquatic organisms. It works out these biological models by leading the user in a logical and rigorous analytical process. The software allows an easy management of the data. The flexibility of the relational database confers many possibilities of linear or transverse analyses. Its connection to external databases allows for processing of data already available in the bibliography. Ecological variables commonly used are provided by default but may also be configured by the user. Results produced are directly displayed and can be stored in graphic form or be exported in spreadsheat format for complementary processing.

---

1. Ichthyo Sys Environnement, 29 allée de Sauveterre, F-31280 Drémil-Lafage, France
2. Centre d'Ecologie des Systèmes Aquatiques Continentaux, UMR CNRS C5576, 118 route de Narbonne, F-31062 Toulouse cedex 4, France
3. Corresponding author : E-mail : info@isenvironnement.com

1. Introduction

La prise en compte de l'habitat des organismes aquatiques se généralise dans le cadre des études environnementales afin d'appréhender l'influence des activités anthropiques sur les cours d'eau. Les méthodes de modélisation des habitats et des preferenda spécifiques, connues sous le nom de «méthodes des microhabitats», sont aujourd'hui couramment utilisées pour les espèces de salmonidés et leur usage tend à s'étendre à tous les organismes aquatiques. La méthode consiste à estimer la capacité d'accueil potentielle des cours d'eau pour un stade de développement d'une espèce en couplant deux modèles : un modèle biologique qui décrit les relations entre une espèce à un stade donné et les variables physiques de son habitat, et un modèle hydraulique qui reprend les principales composantes de la structure physique de l'habitat (Souchon et al. 1989).

Les facteurs écologiques agissant à l'échelle «ponctuelle» sont prépondérants pour expliquer la présence de l'espèce par rapport à d'autres éléments. Le microhabitat constitue donc l'unité d'habitat élémentaire et correspond à l'emplacement que peut occuper l'individu si les conditions lui conviennent. L'utilisation de la méthode des microhabitats nécessite de connaître les préférences d'habitat de l'individu pour les variables physiques considérées. Les courbes de preferenda d'habitat (Baldrige & Amos 1982) et les profils écologiques (Daget & Godron 1982) représentent les modèles biologiques les plus fréquemment utilisés (Bovee 1982, Sheppard & Johnson 1985, Pouilly 1994, Mastrorillo 1997, Roussel et al. 1999, Guay et al. 2000). Les profils écologiques sont considérés comme un indice de sélection et d'utilisation de l'habitat pour l'espèce et le stade étudiés. En revanche, les courbes de preferenda renseignent sur les préférences intrinsèques des individus vis-à-vis des facteurs physiques de l'environnement.

Avec la multiplication de ce type d'études est apparue la nécessité de disposer d'outils performants et conviviaux proposant la gestion de jeux de données importants et l'aide à la réalisation de calculs complexes et fastidieux (Sanlaville-Boisson et al. 1995). Fonctionnant sous l'environnement Windows™, le logiciel ProCURVE a été développé dans ce sens. Il est le premier logiciel entièrement dédié à l'élaboration de courbes de preferenda et de profils écologiques pour les organismes aquatiques. Ses fonctionnalités lui permettent de gérer les données récoltées sur le terrain ou d'exploiter des bases de données tierces, d'analyser des données d'habitat et de construire aisément des modèles biologiques (profils et courbes) selon différents protocoles de calcul. L'ensemble de ces fonctions est accessible à partir d'une interface logique et conviviale basée sur la notion «d'expérience» et l'interprétation graphique. La simplification des procédures de sélection des paramètres et de réalisation des calculs qui en résulte procure à l'utilisateur une entière liberté de gestion de ses champs d'hypothèses.

2. Rappel méthodologique

La définition d'un plan d'échantillonnage adapté et complet garantit l'obtention d'un jeu de données fiable et représentatif.

La méthode de l'Echantillonnage Ponctuel d'Abondance (EPA) par pêche électrique (Nelva et al. 1979) est adaptée à l'étude des preferenda d'habitat des poissons (Copp & Penaz 1988, Persat & Copp 1989, Bengen 1992, Mastrorillo et al. 1996). Elle permet l'exploration d'un grand nombre d'habitats (Heggenes & Saltveit 1990) ainsi que la standardisation des échantillons. Cette méthode, où chaque point d'échantillonnage est considéré comme l'unité spatio-temporelle de base, répond parfaitement aux impératifs de création des modèles biologiques car elle permet d'obtenir une image réelle et instantanée de l'occupation de l'habitat par le poisson (Liebig 1998).

A partir des données ainsi récoltées, les relations entre l'organisme aquatique échantillonné, pour un stade donné, et son habitat, défini par les variables environnementales prises en compte, peuvent être traduites sous la forme de profils écologiques et/ou de courbes de preferenda d'habitat.

Les profils écologiques sont définis par la combinaison d'un ensemble de paramètres essentiellement physiques qui déterminent en chaque point d'un cours d'eau l'espace de vie des poissons (Souchon 1994). Les principaux éléments de cet espace sont les variables descriptives de l'hydromorphologie. Les profils écologiques sont basés sur la présence ou l'absence du poisson selon les variables du milieu. Ils apportent principalement une information sur l'utilisation de l'habitat pour un stade de l'espèce considérée. En d'autres termes, ils définissent les exigences écologiques d'une espèce pour un facteur donné (Daget & Godron 1982). La valeur d'un profil pour un facteur (ou variable) est calculée à partir de la relation suivante :

$V_i = F_i - F_{tot}$

V_i : valeur du profil pour la modalité i du paramètre

F_i : fréquence de l'espèce dans la modalité i

F_{tot} : fréquence de l'espèce sur l'ensemble des relevés

Le profil écologique est présenté graphiquement sous forme d'histogramme (les valeurs positives indiquent une utilisation de la modalité par les poissons alors que les valeurs négatives signalent au contraire un évitement). Nous avons ici présenté une méthode d'échantillonnage à partir de données physiques ponctuelles pour établir ces profils. Ceci est statistiquement reconnu mais pourrait être biologiquement discutable (Bain et al. 1985, Weddle & Kessler 1993, Thévenet & Stazner 1999). Tenir compte de l'environnement immédiat du point focal et des contrastes physiques peut aussi revêtir une certaine importance. Cependant, il ne s'agit pas de prendre parti pour une méthode vis-à-vis d'une autre mais de présenter les bases nécessaires à l'établissement de ce type de modèle biologique par le logiciel.

Les courbes de preferenda d'habitat matérialisent les besoins des organismes aquatiques, compte-tenu de l'habitat disponible. Elles sont basées sur la comparaison de l'abondance des poissons et des caractéristiques physiques du milieu et tiennent compte du fait que les individus sélectionnent les zones les plus favorables parmi celles qui leur sont disponibles. Les courbes comparent l'habitat utilisé et l'habitat disponible et sont donc indépendantes de la proportion d'habitat disponible qui est susceptible d'influencer son utilisation (Delacoste 1995, Liebig 1998). Les valeurs P_i de préférences d'habitat physique pour chaque point sont calculées à l'aide de la relation suivante (Fragnoud 1987) :

$$P_i = \frac{(N_i / N_t)}{(F_i / F_t)}$$

N_i : nombre de poissons associés à la classe de taille i

N_t : nombre total de poissons

F_i : nombre de points d'échantillonnage associés à la modalité i du paramètre considéré

F_t : nombre total de points d'échantillonnage

La fréquence de la classe présentant la plus forte valeur est ramenée à 1. Cette classe représente l'optimum pour cette variable d'habitat. Les autres classes sont pondérées dans le rapport inverse de la fréquence de cette classe. Pour un paramètre donné, les individus montrent une préférence d'autant plus marquée pour une modalité que la valeur calculée correspondante est élevée.

Les courbes de preferenda d'habitat permettent de calculer, par la méthode des microhabitats, une note de qualité d'habitat (valeur d'habitat ou VHA) pour le secteur étudié en les couplant à un modèle hydraulique qui permet de reconstituer les variables physiques retenues avec le débit transitant dans le tronÁon considéré (Souchon et al. 1989).

3. Présentation du logiciel ProCURVE

3.1. Configuration du logiciel

ProCURVE est fourni par défaut avec tous les paramètres classiquement utilisés pour l'élaboration des modèles d'habitat piscicoles en France métropolitaine.

Grâce au menu de configuration, l'utilisateur peut personnaliser le logiciel selon ses besoins. Ces modifications affectent un ensemble de ressources dont dépendront les calculs ultérieurs. L'utilisateur peut par exemple, modifier ou créer des listes d'espèces en fonction de la zone d'étude, choisir ou créer des échelles granulométriques (par défaut : Cailleux (1954) ou Wentworth modifiée Souchon et al. (1989)), sélectionner ou créer des classifications de faciès d'écoulement (par défaut : Malavoi (1989) ou Delacoste et al. (1995)). Cette fonctionnalité autorise la création, la modification ou la suppression de toute variable, discrète ou continue, en fonction des besoins de l'utilisateur.

Par exemple, l'adaptation de ProCURVE pour l'élaboration des courbes d'habitat de la faune piscicole de la Réunion n'a demandé que la saisie d'une nouvelle liste d'espèces tropicales et la prise en compte dans le jeu de variables des particularités morphodynamiques des rivières pérennes de l'île, caractérisées par une hydrologie cyclonique.

3.2. La gestion des données

Le logiciel ProCURVE intègre une base de données qui permet la gestion complète des données d'habitat récoltées sur le terrain. Celles-ci peuvent provenir d'une acquisition par le biais d'un masque de saisie convivial (Fig.1) ou bien être exploitées à partir d'autres bases de données environnementales telles que CAFCA© ou WINFISH© (Ichthyo Sys 1993, 1995) ou tout autre logiciel compatible SANDRE (Secrétariat d'Administration Nationale des Données Relatives à l'Eau). Le choix d'un système de gestion de base de données relationnelles comme plate-forme de développement pour ProCURVE garantit l'intégrité à long terme des données sauvegardées.

Les informations issues d'un échantillonnage sont intégrées à la base de données ProCURVE par l'intermédiaire d'onglets définissant deux jeux de données complémentaires. Le jeu des informations physiques comprend les variables physiques mesurées, soit, par défaut : granulométrie, vitesses de courant, profondeur. Le jeu de données biologiques comprend par défaut les paramètres : espèce, longueur totale et sexe des individus capturés (Fig. 2).

3.3. Les modèles d'expérience

L'exploitation des données enregistrées passe par la définition d'expérience. Chaque expérience décrit précisément l'ensemble des paramètres utilisés dans les calculs. A partir de menus clairs et conviviaux, l'utilisateur choisit des modalités pour les paramètres à tester qu'il enregistre sous la forme d'un modèle d'expérience. Une fois sauvegardé, le modèle est utilisé pour réaliser des calculs. Il peut également être appliqué à de nouveaux jeux de données avec le même paramétrage.

Dans l'étude des relations habitat/poissons, l'échelle d'approche revêt une importance cruciale (Haury et al. 1991, Baran 1995, Bult et al. 1998, Heggenes et al. 1999). Ce facteur est pris en compte dans ProCURVE. L'utilisateur peut choisir l'échelle spatiale qui lui convient par la sélection des cours d'eau, des stations d'étude, ou des faciès d'écoulement désirés. L'échelle temporelle est également prise en compte par le choix des campagnes d'échantillonnage. Cette démarche scalaire logique autorise la création d'analyses transversales ouvrant ainsi des possibilités de comparaison entre secteurs écologiques ou entre cours d'eau (Poizat 1993).

L'utilisateur doit ensuite choisir le paramètre abiotique à analyser parmi ceux disponibles dans la configuration. Pour les calculs, les variables quantitatives ou continues doivent être découpées en modalités qualitatives. La définition des classes pour la variable sélectionnée est prépondérante pour l'obtention de résultats cohérents. L'utilisateur a le choix de la définition des modalités dont le nombre doit si possible être élevé. Ces modalités, présentées sous forme d'histogrammes, doivent avoir des effectifs d'observations suffisants (Nakache 1973). Dans le cas d'une variable discrète telle que la granulométrie, exprimée en recouvrement relatif selon l'échelle paramétrique choisie, on peut obtenir deux familles de courbes de preferenda et de profils : soit des courbes de granulométrie globale pour chaque type de substrat représentant une modalité semi-quantitative, soit des courbes obtenues pour chaque type de substrat avec, comme pour les autres paramètres, une mise en classe qualitative du recouvrement.

Enfin, l'utilisateur est amené à sélectionner l'espèce et le stade à étudier. Il est communément admis que l'utilisation de l'habitat par le poisson varie selon son âge ou son stade de développement (Heland 1991, La Voie IV & Hubert 1996, Liebig 1998, Mallet et al. 2000). ProCURVE permet de travailler directement sur l'âge des organismes aquatiques (par exemple obtenu à partir de lecture d'écailles ou par morphométrie), mais également, et avec une grande facilité, par l'intermédiaire d'une mise en classe des tailles. Cette dernière consiste en la création de stades de développement définis simplement par la saisie de bornes de tailles (Fig. 3).

3.4. La réalisation des calculs

Un calcul correspond à l'analyse des données selon les indications fournies par un modèle d'expérience développé sur la base d'une configuration prédéfinie. Chaque modèle peut être stocké dans une liste d'expériences pour une utilisation ultérieure. Concrètement, cette opération revient à sélectionner l'un des modèles sauvegardés ainsi que le jeu de données à traiter.

Des tests de χ_2 sont effectués pour chaque type de représentation (profil ou courbe) afin de rechercher les relations significatives entre les classes de variables et la présence ou l'abondance de l'espèce. Ce test permet de déterminer si la distribution des organismes aquatiques s'effectue de manière aléatoire ou sélective pour le paramètre étudié. Et par conséquent, il indique si les courbes et les profils obtenus sont utilisables, par exemple dans le cadre d'une étude de la capacité d'accueil de l'habitat d'une rivière. Dans le cas où le test ne serait pas significatif, l'utilisateur peut modifier son modèle d'expérience, en choisir un autre dans la liste ou en créer un nouveau sans perte de temps.

De même, grâce à l'analyse visuelle, l'utilisateur a la possibilité d'effectuer immédiatement d'autres calculs si les résultats obtenus ne sont pas satisfaisants. Cette opération s'avère particulièrement laborieuse sans l'aide de cet outil. Grâce à ProCURVE, il est possible, en quelques instants, de modifier les bornes de mise en classe de la variable physique analysée, de revenir sur les valeurs des bornes des stades de développement ou de se référer à d'autres valeurs issues de la bibliographie, jusqu'à l'obtention de résultats biologiquement cohérents.

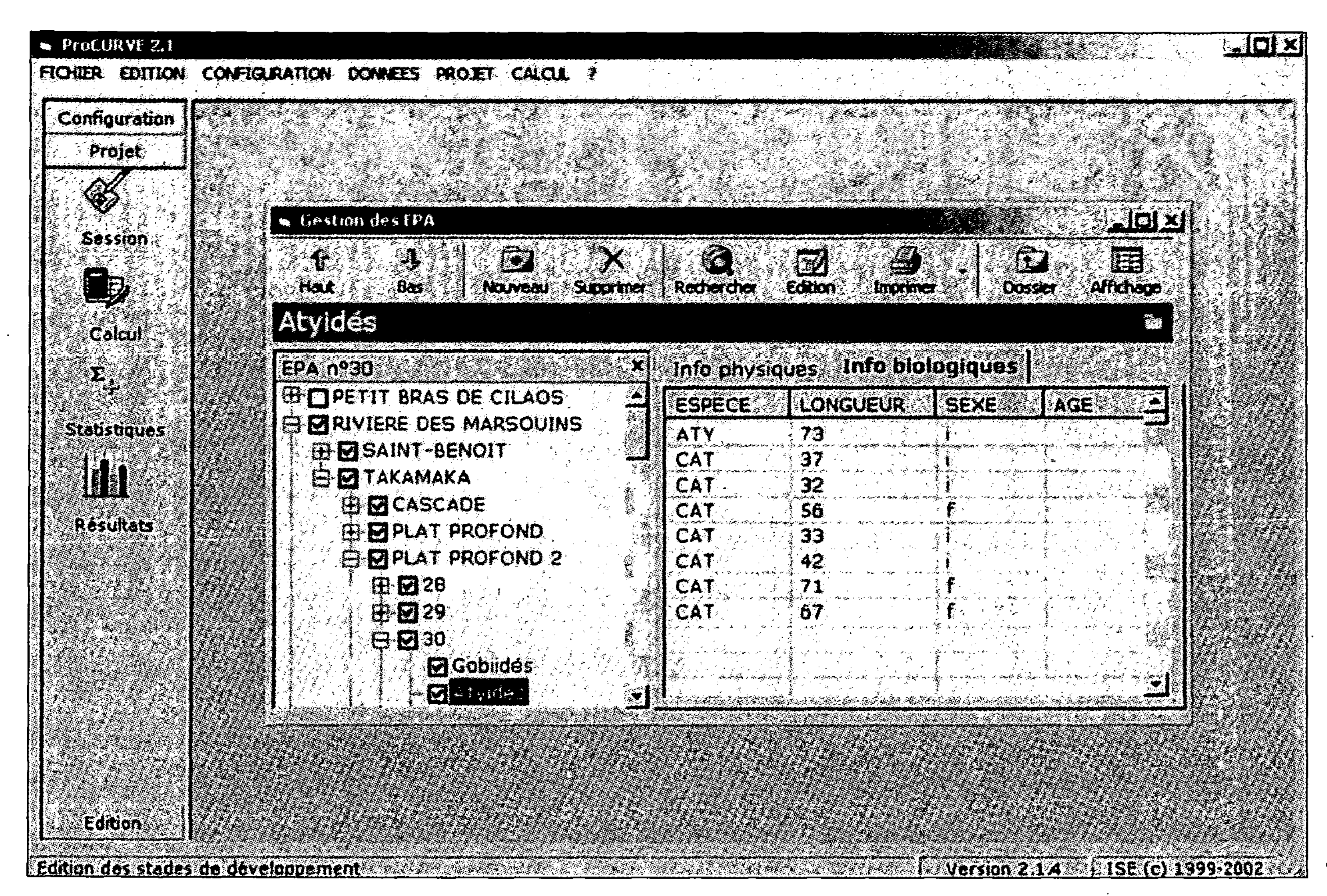


Fig. 1. Menu principal du logiciel ProCURVE.

Fig. 1. Main menu of ProCURVE.

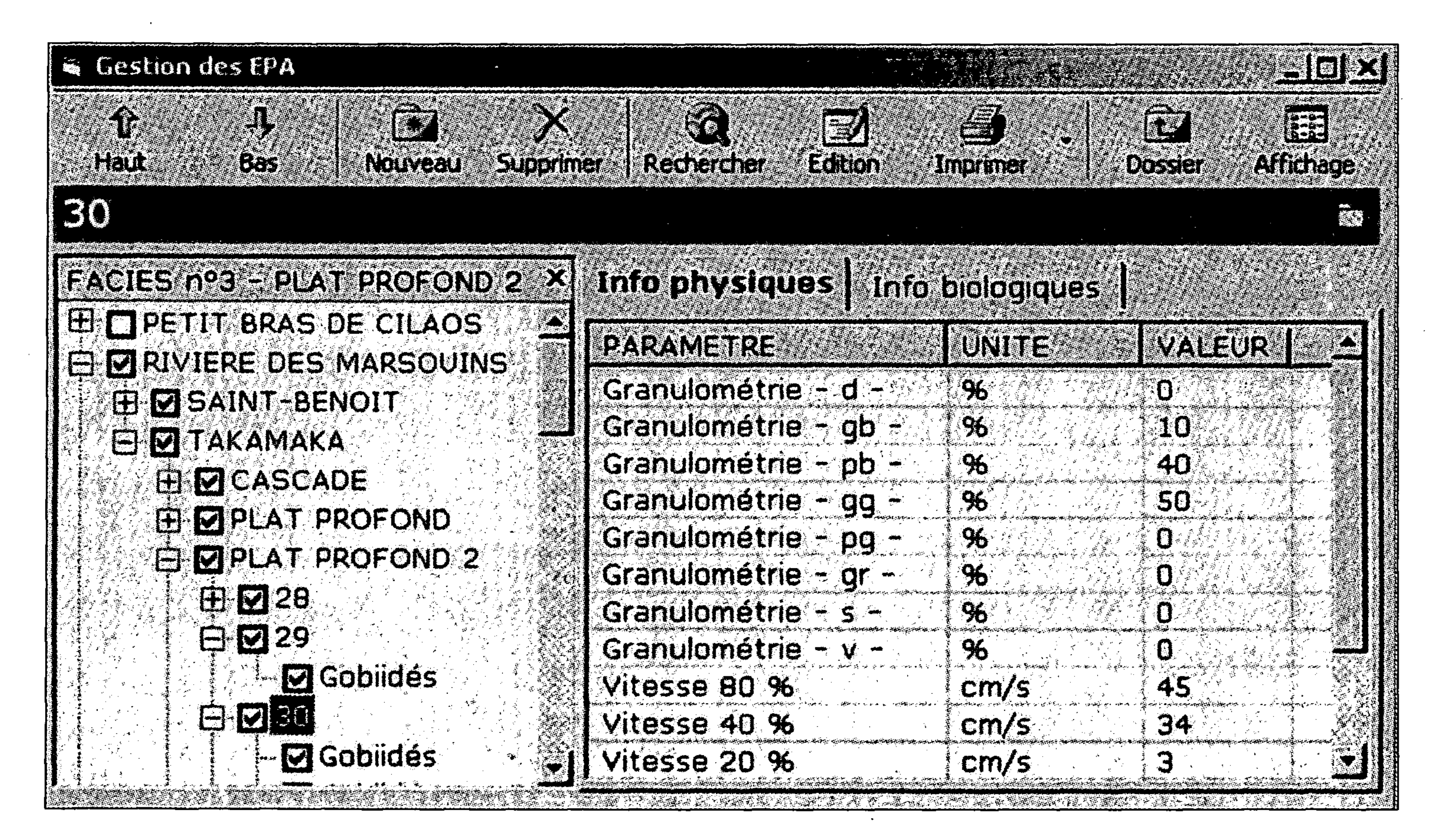


Fig. 2. Gestion des EPA - Saisie des données physiques («info physiques») et des données biologiques («info biologiques»).

Fig. 2. Management of the Point Abundance Sampling - physical data («info physiques») and biological data («info biologiques»).

3.5. L'édition des résultats

ProCURVE est doté d'une interface graphique performante. Les graphes et tableaux sont directement mis en forme et standardisés (Figs 4, 5, et 6).

ProCURVE permet également l'exportation des données brutes et des résultats vers des tableurs et logiciels de statistiques pour réaliser une mise en forme particulière ou un traitement complémentaire. Ainsi, les courbes de preferenda peuvent être exportées pour être intégrées aux logiciels d'évaluation et de simulation de la capacité d'accueil des cours d'eau tels que EVHA© (Ginot 1995) ou CAFCA (Ichthyo Sys 1993) pour tous les organismes aquatiques.

4. Discussion et conclusion

Les profils écologiques sont couramment utilisés dans la description des relations entre les poissons et leur habitat. Avec ProCURVE, leur réalisation en est grandement facilitée. L'utilisateur dispose ainsi d'un véritable outil d'exploration des populations aquatiques. Le logiciel ouvre ainsi la voie à de nouvelles investigations, par exemple sur des populations d'invertébrés aquatiques ou de poissons tropicaux dont les exigences écologiques sont encore méconnues.

Les courbes de preferenda d'habitat expriment des préférences moyennes et sont supposées être applicables dans tous les cours d'eau (Bovee 1982). Les modèles prescrits par d'autres auteurs (Pouilly 1994, Lamouroux et al. 1999) sont couramment appliqués à une échelle globale mais ne sont pas toujours adaptés à des conditions locales particulières. La disponibilité de courbes généralistes ne doit pas faire oublier que la représentativité des modèles biologiques est un déterminant essentiel de leur qualité en tant qu'outils de prédiction. En effet, il ne faut pas négliger l'existence de spécificités au niveau des cours d'eau pouvant entraîner des adaptations comportementales à l'échelle de la population (Heggenes 1990, Heggenes & Salveit 1990) ou des différences de réponses individuelles (Näslund et al. 1993). Ainsi, dans le cadre d'une étude à échelle réduite de la capacité d'accueil, Raleigh et al. (1984) préconisent l'utilisation de courbes établies à

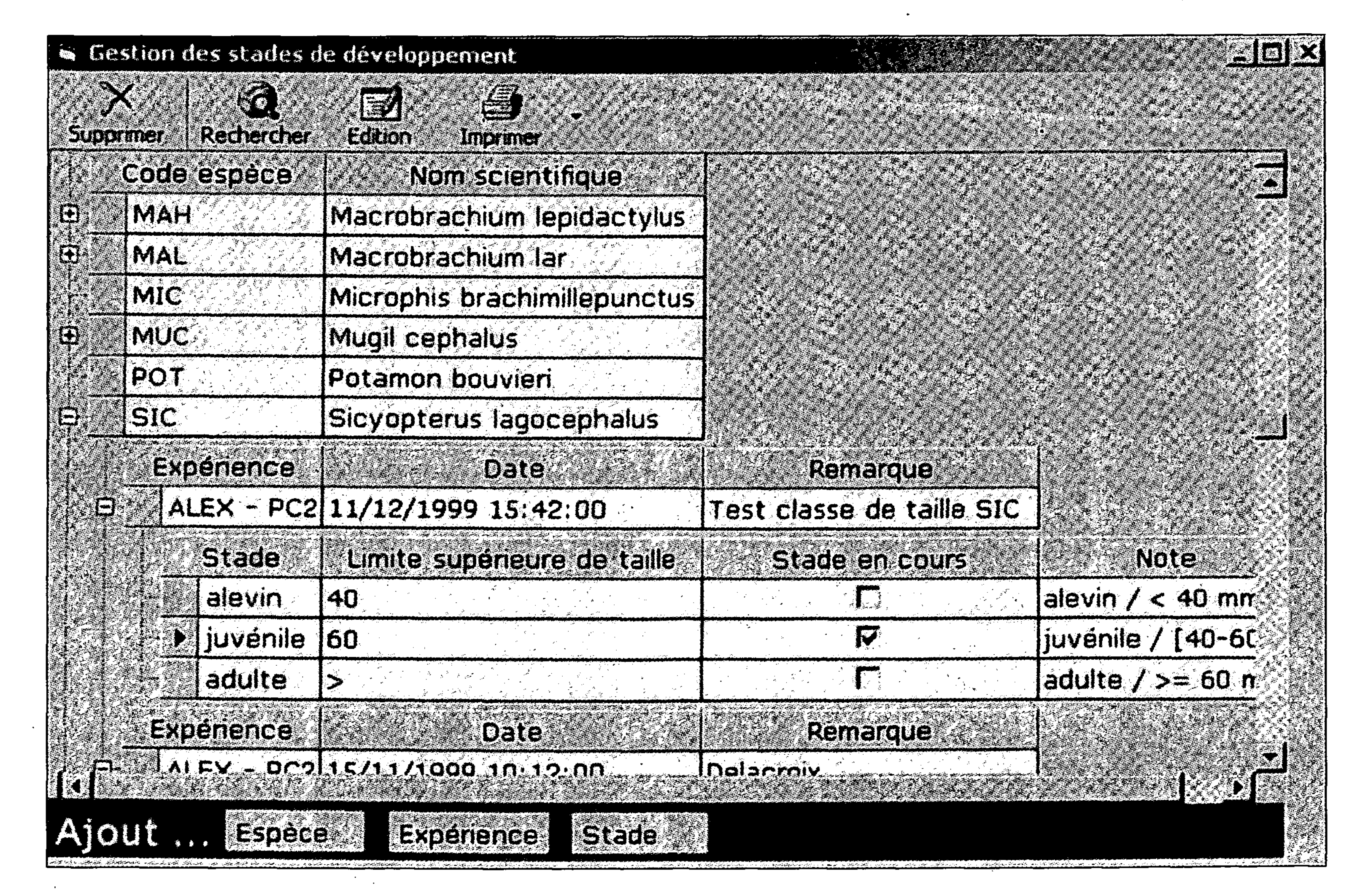


Fig. 3. Gestion des stades de développement par modèles d'expérience.

Fig. 3. Management of the stages of development by experimental models.

partir de données locales. Les courbes ainsi obtenues seront d'autant plus pertinentes qu'elles sont basées sur les stades de développement déterminés finement par l'utilisateur au cours d'une approche locale (Liebig 1998). Grâce à ProCURVE, il est maintenant possible d'explorer avec rapidité et facilité un vaste champ d'hypothèses afin de sélectionner la combinaison de paramètres la plus efficiente, aboutissant au calcul du modèle le plus pertinent. L'utilisateur n'est donc plus limité à l'utilisation de modèles rigides, voire inadaptés à ses besoins.

Il faut cependant garder à l'esprit que l'intérêt des courbes ainsi obtenues dépend de la qualité des données recueillies sur le terrain. La facilité d'obtention des résultats ne doit pas faire oublier la prépondérance des données brutes. Comme le souligne Delacoste (1995), l'établissement d'un modèle ne doit pas constituer une finalité. Il n'est qu'un outil d'aide à la décision en matière de gestion et d'aide à l'analyse des processus écologiques.

Remerciements

Nous tenons à remercier S. Mastrorillo pour ses remarques et commentaires pertinents.

Travaux cités

Bain M.B., Finn J.T. & Booke H.E. 1985. — A quantitative method for sampling riverine microhabitats by electrofishing. *N. Am. J. Fish. Manag.*, 5 : 489-493.

Baldrige J.E. & Amos D. 1982. — A technique for determining fish habitat suitability criteria : a comparison between habitat utilization and habitat availability. *In Symposium on acquisition and utilisation of aquatic habitat inventory information, Bethesda*, MD, Western Division of American Fisheries Society : 251-258.

Baran P. 1995. — Analyse de la variabilité des truites communes (*Salmo trutta* L.) dans les Pyrénées centrales françaises. Influence des échelles d'hétérogénéité d'habitat. Thèse doc., Institut National Polytechnique de Toulouse : 147 p.

Bengen D. 1992. — Contribution à la typologie fonctionnelle des bras morts de la Garonne. Approches physico-chimiques et ichtyologiques. Thèse doc., Institut National Polytechnique de Toulouse : 164 p.

Bovee K.D. 1982. — A guide to stream habitat analysis using Instream Flow Incremental Methodology. *Instream Flow Info. Pap.*, n° 12, Washington, DC, FWS/OBS 82/26, US Fish and Wildlife Service : 248 p.

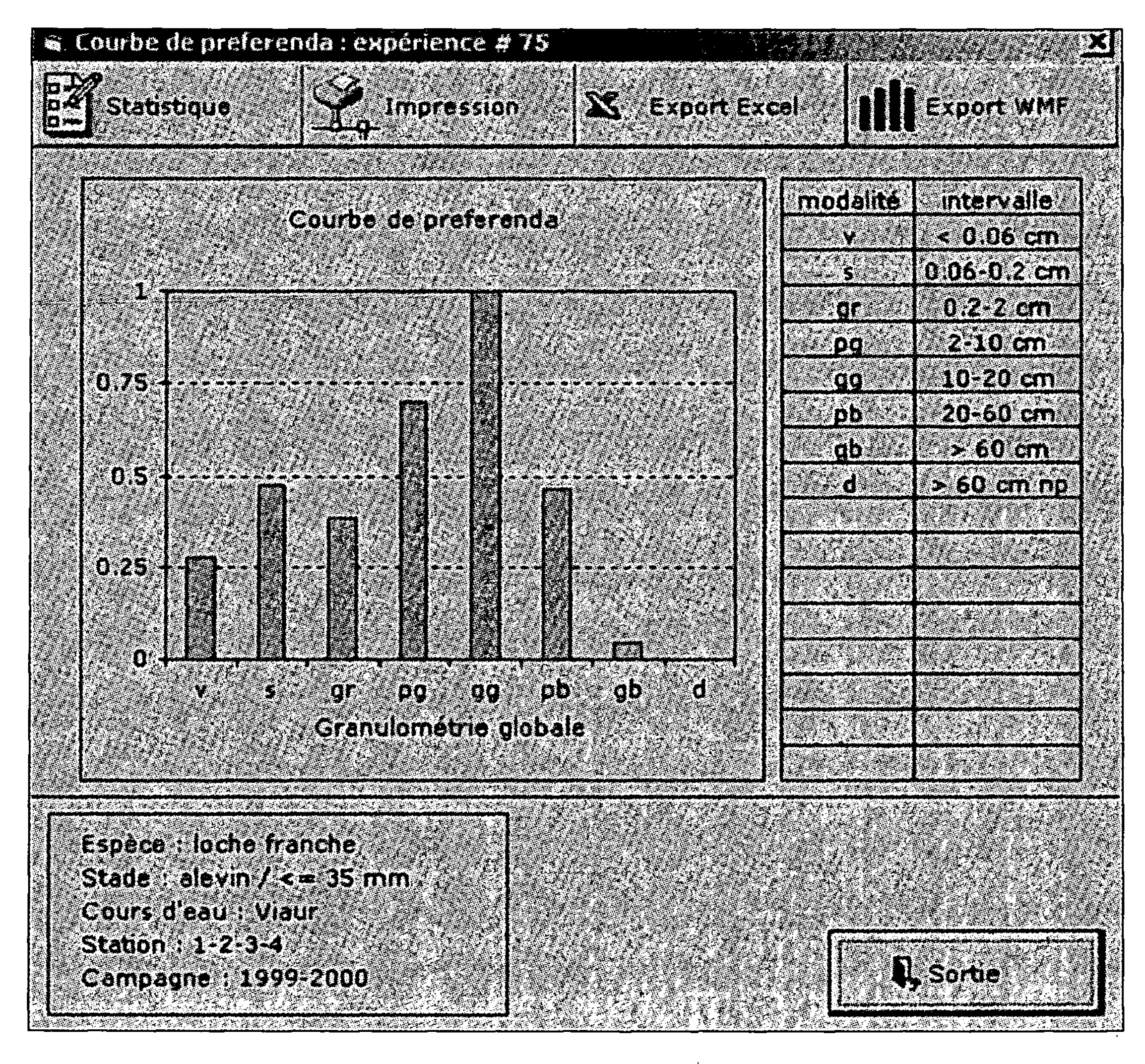


Fig. 4. Exemple de représentation d'une courbe de preferenda de granulométrie globale (chaque substrat représente une modalité semi-quantitative).

Fig. 4. A preference curve of total granulometry representation (each substrate represents a semi-quantitative category).

Bult T.P., Haedrich R.L. & Schneider D.C. 1998. — New technique describing spatial scaling and habitat selection in riverine habitats. *Reg. Riv. : Res. & Manag.*, 14 : 107-118.

Cailleux A. 1954. — Limites dimensionnelles des noms des fractions granulométriques. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 4 : 643-646.

Copp G.H. & Penaz M. 1988. — Ecology of fish spawning and nursery zones in floodplain, using a new sampling approach. *Hydrobiologia*, 169 : 209-224.

Daget P. & Godron M. 1982. — *Analyse de l'écologie des espèces dans les communautés*, Paris, Masson, (Ed) : 163 p.

Delacoste M. 1995. — Analyse de la variabilité spatiale de la reproduction de la truite commune (*Salmo trutta* L.). Etude à l'échelle du micro et du macrohabitat dans six rivières des Pyrénées centrales françaises. Thèse doc., Institut National Polytechnique de Toulouse : 133 p.

Delacoste M., Baran P., Lek S. & Lascaux J.M. 1995. — Classification et clé de détermination des faciès d'écoulement en rivière de montagne. *In Colloque «Habitat-Poissons»*, Gaudin P., Souchon Y., Orth D.J. & Vigneux E., (Eds), *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, 337/338/339 : 149-156.

Fragnoud E. 1987. — Préférences d'habitat de la truite fario (*Salmo trutta fario* L., 1758) en rivière (quelques cours d'eau du Sud-Est de la France). Thèse de 3ème cycle, Université Lyon I : 433 p.

Ginot V. 1995. — EVHA, un logiciel d'évaluation de l'habitat du poisson sous Windows. *In Colloque «Habitat-Poissons»*, Gaudin P., Souchon Y., Orth D.J. & Vigneux E., (Eds), *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, 337/338/339 : 303-308.

Guay J.C., Boisclair D., Rioux D., Leclerc M., Lapointe M. & Legendre P. 2000. — Development and validation of numerical habitat models for juveniles of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 57 : 2065-2075.

Haury J., Ombredane D. & Baglinière J.L. 1991. — L'habitat de la truite commune (*Salmo trutta*) en cours d'eau. *In La truite, biologie et écologie*, INRA publ. Paris, Baglinière et Maisse, (Eds) : 47-95.

Heggenes J. 1990. — Habitat utilization and preferences in juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*) in streams. *Reg. Riv. : Res. & Manag.*, 5 : 341-354.

Heggenes J. & Saltveit S.J. 1990. — Seasonal and spatial microhabitat selection and segregation in young Atlantic salmon, *Salmo salar* L., in a Norwegian river. *J. Fish Biol.*, 36 : 707-720.

Heggenes J., Baglinière J.L. & Cunjak R.A. 1999. — Spatial niche variability for young Atlantic salmon (*Salmo salar*) and brown trout (*S. trutta*) in heterogeneous streams. *Ecol. Freshwat. Fish*, 8 : 1-21.

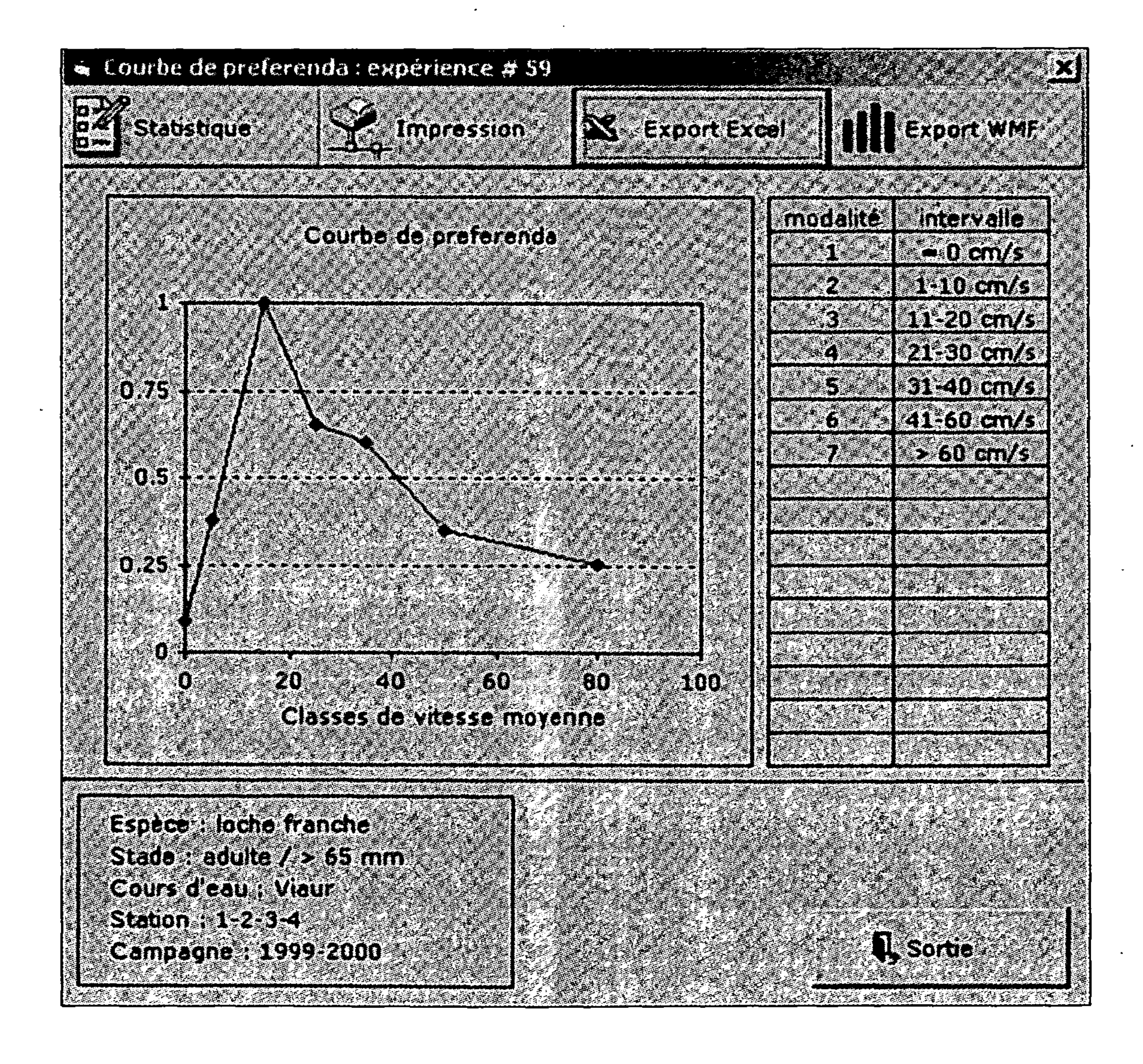


Fig. 5. Exemple d'une courbe de preferenda (représentation quantitative des résultats).

Fig. 5. Example of a preference curve (quantitative representation of the results).

Heland 1991. — Organisation sociale et territorialité chez la truite commune immature au cours de l'ontogénèse. *In La truite, biologie et écologie*, INRA publ. Paris, Baglinière et Maisse, (Eds) : 121-149.

Ichthyo Sys 1993. — *CAFCA version 1.1, application informatique de la méthode des microhabitats, manuel d'utilisation*, Drémil-Lafage, Ichthyo Sys Environnement : 43 p.

Ichthyo Sys 1995. — *WINFISH version 2.7, progiciel de traitement des données de pêche, manuel d'utilisation*, Drémil-Lafage, Ichthyo Sys Environnement : 85 p.

Lamouroux N., Capra H., Pouilly M. & Souchon Y. 1999. — Fish habitat preferences in large streams, southern France. *Freshwat. Biol.*, 42 : 673-687.

La Voie IV W.J. & Hubert W.A. 1996. — Use of three types of stream-margin habitat by age-0 brown trout late in the growing season. *Hydrobiologia*, 317 : 89-95.

Liebig H. 1998. — Etude sur le recrutement de la truite commune (*Salmo trutta* L.) d'une rivière de moyenne montagne (Pyrénées ariégeoises, 09) - Effets de la gestion par éclusées d'une centrale hydroélectrique - Approches *in situ* et expérimentales. Thèse doc., Institut National Polytechnique de Toulouse : 201 p.

Malavoi J.R. 1989. — Typologie des faciès d'écoulement ou unités morphodynamiques des cours d'eau à haute énergie. *Bull. Fr. Piscic.*, 315 : 189-210.

Mallet J.P., Lamouroux N., Sagnes P. & Persat H. 2000. — Habitat preferences of European grayling in a medium size stream, the Ain river, France. *J. Fish Biol.*, 56 : 1312ñ1326.

Mastrorillo S. 1997. — Profils écologiques du Vairon *Phoxinus phoxinus* (L.), de la Loche franche *Barbatula barbatula* (L.) et du Goujon *Gobio gobio* (L.) à l'échelle du microhabitat dans trois rivières pyrénéennes. Thèse doc., Institut National Polytechnique de Toulouse : 106 p.

Mastrorillo S., Dauba F. & Belaud A. 1996. — Utilisation des microhabitats par le vairon, le goujon et la loche franche dans trois rivières du sud-ouest de la France. *Ann. Limnol.*, 32 : 1-11.

Nakache J.P. 1973. — Influence du codage des données en analyse factorielle des correspondances. Etude d'un exemple pratique médical. *Rev. Stat. Appl.*, 21 (2) : 57-70.

Naslünd I., Milbrink G., Eriksson O. & Holmgren S. 1993. — Importance of habitat productivity differences, competition and predation for the migratory behaviour of Artic charr. *Oikos*, 66 : 538-546.

Nelva A., Persat H. & Chessel D. 1979. — Une nouvelle méthode d'étude des peuplements ichtyologiques dans les grands cours d'eau par échantillonnage ponctuel d'abondance. *C.R. Acad. Sci. III - Vie*, Paris, Série D, 289 : 1295-1298.

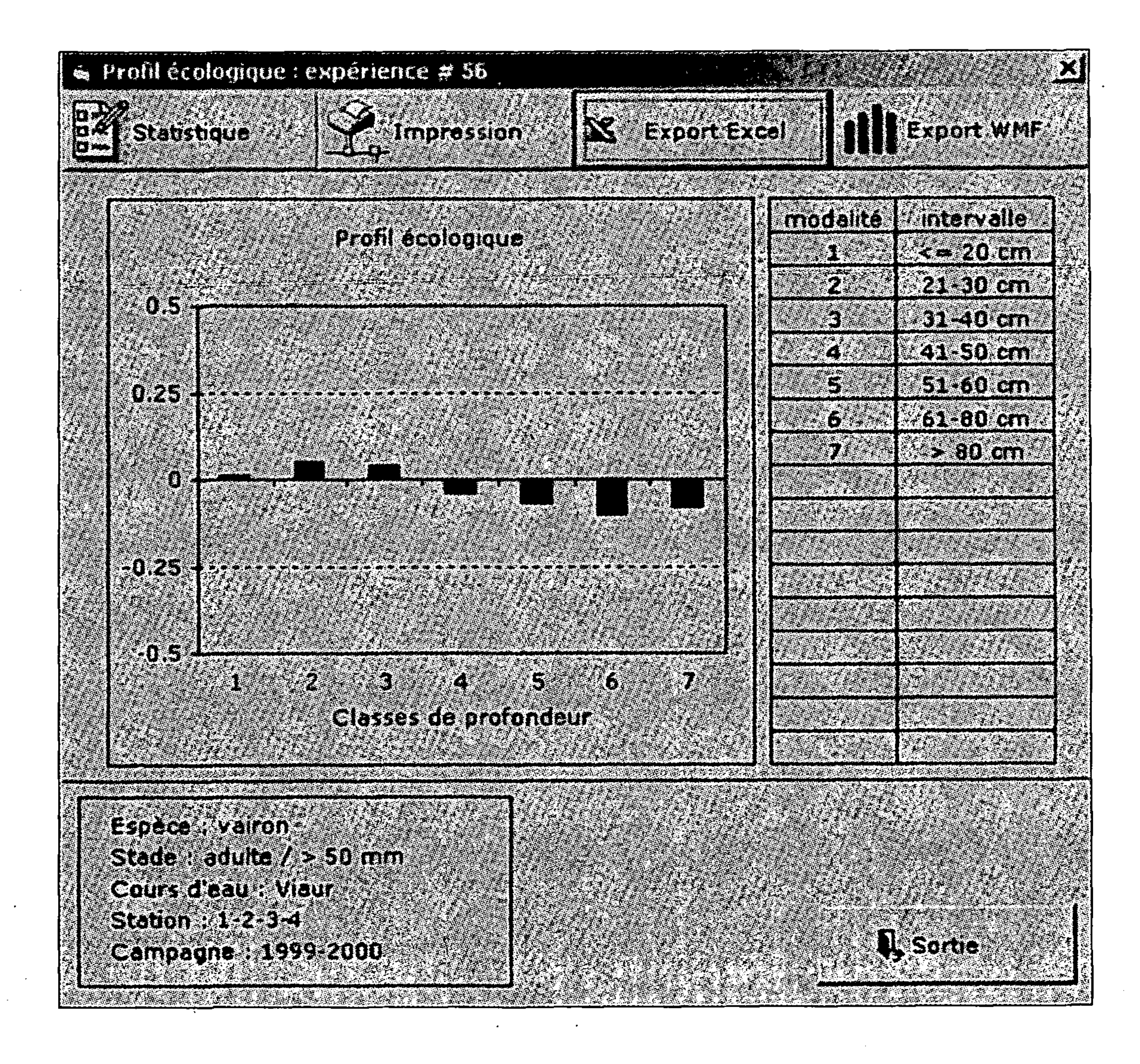


Fig. 6. Exemple de représentation d'un profil écologique (mise en classe qualitative).

Fig. 6. Representation of a microhabitat profile (qualitative categories).

Persat H. & Copp G.H. 1989. — Electrofishing and Point Abundance Sampling for the ichthyology of large rivers. *In Developments in Electrofishing, Fishing News Books*, Oxford, Cowx I., (Ed), Blackwell Scientific Publishing : 203-215.

Poizat G., 1993. — Echelle d'observation et variabilité des abondances de juvéniles de poissons dans un secteur aval du Rhône. Thèse doc., Univ. C. Bernard Lyon 1 : 217 p.

Pouilly M. 1994. — Relations entre l'habitat physique et les poissons des zones à cyprinidés rhéophiles dans trois cours d'eau du bassin rhôdanien : vers une simulation de la capacité d'accueil pour les peuplements. Thèse doc., Université de Lyon I, Cemagref Bea-Lhq, Lyon : 256 p.

Raleigh R.F., Zuckerman L.D. & Nelson P.C. 1984. — Habitat suitability index models and instream flow suitability curves : brown trout. US Fish and Wildlife Service, Biological Services Program, FWS/OBS-82/10.71 : 124 p.

Roussel J.M., Bardonnet A. & Claude A. 1999. — Microhabitats of brown trout when feeding on drift and when resting in lowland salmonid brook : effects on Weighted Usable Area. *Archiv. Hydrobiol.*, 146, 4 : 413-429.

Sanlaville-Boisson C., Olivier J.M., Simier M., Changeux T., Poizat G., Torre F. & Belliard J. 1995. — Les bases de données : outils de stockage et d'exploitation des échantillonnages piscicoles. *In Colloque «Habitat-Poissons»*, Gaudin P., Souchon Y., Orth D.J. & Vigneux E., (Eds), *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, 337/338/339 : 418 p.

Sheppard J.D. & Johnson J.H. 1985. — Probability of use for depth, velocity and substrate by subyearling coho salmon and steelhead in lake Ontario tributary streams. *N. Amer. J. Fish Manag.*, 5 : 277-282.

Souchon Y. 1994. — Mise en situation : état d'avancement des recherches sur la modélisation de l'habitat des poissons en France. *In* Colloque franco-québecois sur l'intégration des technologies modernes à la gestion des poissons dulcicoles et amphihalins, Montréal, 31 mai - 03 juin 1992 : 115-124.

Souchon Y., Trocherie F., Fragnoud E. & Lacombe C. 1989. — Les modèles numériques des microhabitats des poissons : applications et nouveaux développements. *Rev. Sci. Eau.*, 2 : 807-830.

Thévenet A. & Statzner B. 1999. — Linking fluvial fish community to physical habitat in large woody debris : sampling effort, accuracy and precision. *Archiv. Hydrobiol.*, 145 : 57-77.

Weddle G.K. & Kessler R.K. 1993. — A square-meter electrofishing sampler for benthic riffle fishes. *J. North Am. Benthol. Soc.*, 12 : 291-301.